

## Diffusion control of P-N junction location in multilayer heterostructure light emitting devices

Patent Number:  US5164798

Publication date: 1992-11-17

Inventor(s): HUANG KUO-HSIN (US)

Applicant(s): HEWLETT PACKARD CO (US)

Requested Patent:  JP5190898

Application Number: US19910726319 19910705

Priority Number(s): US19910726319 19910705

IPC Classification: H01L29/205; H01S3/19

EC Classification: H01L33/00B6B3, H01L33/00C4D4, H01L33/00D3B

Equivalents: JP3188522B2

### Abstract

A light emitting diode is epitaxially grown on a semiconductor substrate. A lower cladding layer is grown on the substrate and doped to have n-type conductivity. An active layer is deposited on the lower cladding layer, and a p-type upper cladding layer is deposited on the active layer. A relatively thin lower window layer is then deposited on the upper cladding layer, and doped with a first p-type dopant material. A relatively thick upper window layer is then deposited on the lower window layer, and doped with a different p-type dopant material. The layer with a dopant different from the principal portion of the window serves to limit diffusion of dopant through the active layer. The dopant in the diffusion limiting layer can diffuse in both directions, thereby reducing the driving force of diffusion. As a result, the p-type dopant intersects a steep portion of the concentration gradient of n-type dopant quite near the interface between the lower cladding layer and active layer, resulting in high light output power. A diffusion limiting layer having a different dopant than a substrate may be used for forming a LED with a p-type substrate and an n-type layer near the upper face.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

8

(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-190898

(43)公開日 平成5年(1993)7月30日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>  
H 0 1 L 33/00識別記号  
A 8934-4M

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数5(全8頁)

(21)出願番号 特願平4-200456

(22)出願日 平成4年(1992)7月3日

(31)優先権主張番号 726319

(32)優先日 1991年7月5日

(33)優先権主張国 米国(US)

(71)出願人 590000400

ヒューレット・パッカード・カンパニー  
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト  
ハノーバー・ストリート 3000

(72)発明者 クオ・シン・ファン

アメリカ合衆国カリフォルニア州サンベイ  
ル、ヒバニア・ウェイ 734

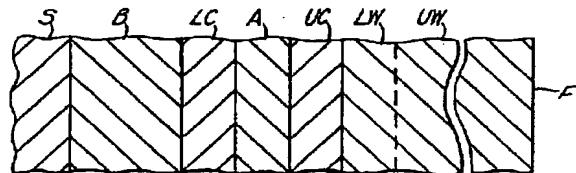
(74)代理人 弁理士 長谷川 次男

(54)【発明の名称】 LED及びLEDの形成方法

## (57)【要約】

【目的】 LEDのp-n接合の位置を制御して光出力を高める。

【構成】 n基板S上にnバッファ層B、n下部クラッド層LC、活性層A、p上部一部クラッド層UC、p下部ウインド層LW、p上部ウインド層UWを形成する。下部ウインド層LW、上部ウインド層UWは同タイプであるが、異なるドーパントが用いられている。形成中、基板Sや下部ウインド層LWからのドーパントの拡散が小さく、LEDのp-n接合の位置を下部クラッド層LCと活性層Aの界面近傍に安定に維持できる。即ち、光出力を高く出来る。前記nをpでそれぞれ置き換えることもできる。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】後記(イ)乃至(ホ)から成るLED。  
 (イ)基板、  
 (ロ)前記基板上に被着された第一の導電性タイプを有する下部クラッド層、  
 (ハ)前記下部クラッド層上に被着された活性層、  
 (ニ)前記活性層上に被着され、前記第一の導電性タイプとは異なる第二の導電性タイプを有する上部クラッド層、  
 (ホ)前記上部クラッド層に隣接し第一のドーバント材料を有する第一の層と、前記上部クラッド層から離れて位置し第二のドーバント材料を有する第二の層とから成り、前記第二の導電性タイプを有する前記上部クラッド層に被着されたウインド層。

【請求項2】後記(イ)乃至(ヘ)から成るLED。  
 (イ)珪化ガリウムの基板、  
 (ロ)第一の導電性タイプを有するアルミニウム・インジウム・ガリウム・燐の下部クラッド層、  
 (ハ)前記基板と前記下部クラッド層間に介在する傾斜組成のバッファ層、  
 (ニ)前記下部クラッド層に被着されたアルミニウム・インジウム・ガリウム・燐の活性層、  
 (ホ)前記活性層上に被着され、第一のドーバント材料により前記第一の導電性タイプとは異なる第二の導電性タイプを有するアルミニウム・インジウム・ガリウム・燐の上部クラッド層、  
 (ヘ)前記上部クラッド層に隣接し前記第一のドーバント材料を有する第一の層と、前記上部クラッド層から離れて位置し第二のドーバント材料を有する第二の層とから成り、前記第二の導電性タイプを有する前記上部クラッド層に被着されたガリウム・燐のウインド層。

【請求項3】後記(イ)乃至(ホ)から成るLED。  
 (イ)基板、  
 (ロ)前記基板上に被着された第一の導電性タイプを有する下部クラッド層、  
 (ハ)前記下部クラッド層上に被着された活性層、  
 (ニ)前記第一の導電性タイプとは異なる第二の導電性タイプを有する上部クラッド層、  
 (ホ)前記上部クラッド層と前記下部クラッド層のいずれか一方の層と前記活性層との間に介在し、前記一方の層と前記活性層との界面に垂直な方向でのドーバント濃度の分布が釣鐘形である拡散制限層。

【請求項4】後記(イ)乃至(ヘ)のステップから成るLEDの形成方法。  
 (イ)半導体基板を用意するステップ、  
 (ロ)前記半導体基板上に第一の導電性タイプを有する下部クラッド層を被着するステップ、  
 (ハ)前記下部クラッド層に活性層を被着するステップ、  
 (ニ)前記活性層上に前記第一の導電性タイプとは異な

2

る第二の導電性タイプを有する上部クラッド層を被着するステップ、

(ホ)第一のドーバント材料をドーピングして前記第二の導電性タイプを有するようにした下部ウインド層を前記上部クラッド層に被着するステップ、  
 (ヘ)前記第一のドーバント材料とは異なる第二のドーバント材料をドーピングして前記第二の導電性タイプを有するようにした上部ウインド層を前記下部ウインド層に被着するステップ。

10 【請求項5】後記(イ)乃至(ホ)のステップから成るLEDの形成方法。  
 (イ)pタイプの半導体基板を用意するステップ、  
 (ロ)前記半導体基板に含まれるpタイプのドーバントとは異なるpタイプのドーバントを含む拡散制限層を前記半導体基板上に被着するステップ、  
 (ハ)前記拡散制限層上にpタイプの下部クラッド層を被着するステップ、  
 (ニ)前記下部クラッド層上に活性層を被着するステップ、  
 (ホ)前記活性層上にnタイプの上部クラッド層を被着するステップ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の技術分野】本発明は、二重ヘテロ構造の発光ダイオード(LED)等におけるp-n接合位置の制御に関するものである。とりわけ、本発明は、発光面にウインド層を備え、このウインド層の一部からのドーバント拡散がp-n接合から分離されるようになっている、前記LEDに関するものである。本発明は、また、pタイプ基板に形成されたLEDに関するものもある。

## 【0002】

【発明の技術分野】LEDは、多種多様な用途において遍在するデバイスになり、年間数百万個のLEDが生産されている。これらLEDの大部分は、赤色光を放出する。しかしながら、黄色や緑色も発光する方が望ましい。こうしたLEDに有効な半導体材料は、3-5化合物であるアルミニウム・インジウム・ガリウム・燐:AlInGaPから構成され、この組成を変えることによって、LEDから放出される光の波長を変えることができる。

【0003】AlInGaPによるヘテロ構造のLEDを製造する典型的な技法では、MOCVD(金属・有機化学蒸着)が用いられる。nタイプの珪化ガリウムの基板が、一般に用いられる。基板上に、基板の組成から活性層の組成に徐々に変化するバッファ層をエピタキシャル成長させる。次に、バッファ層に、3層をなすAlInGaPをエピタキシャル成長させる。この3層は、一般に、nタイプになるようにテルルのドーピングが施されるバッファ層上における最下部のクラッド層、殆どドーピングが施されない、組成の異なる活性層、及び、一

般には、マグネシウムまたは亜鉛、場合によっては、ベリリウムまたは炭素のドーピングを施され $p$ タイプとされる上部のクラッド層と呼ばれるものである。

【0004】このタイプの構造に関する問題の1つは、上部のクラッド層の導電率（上部は、「下部の」GaAs基板からより遠いLED部分を表す）が、比較的低いということである。従って、上部クラッド層の上にウインド層をエピタキシャル成長させるのが望ましい。ウインド層の導電率は、比較的高いので、LEDの上面における不透明な電極からの電流は、横方向に広がるので、電極によって遮蔽されない領域から光が放出されることになる。ウインドの屈折率は、LEDから放射される光量を増すように選択される。 $p$ タイプになるようにマグネシウムまたは亜鉛のドーピングを施したGaPのような高導電率の材料を用いることが可能である。こうしたウインドについては、米国特許第5,008,718号に記載がある。

【0005】これらの効果を高めるため、例えば、20～100マイクロメートルといった比較的厚いウインドを備えることが望ましい。800°Cの温度で、VPEによってこうした厚さのウインドを成長させるには、1.5～8時間かかる。この結果、ドーパントは、上部クラッド層及びウインドから活性層にかなり拡散することになる。比較的厚いウインドを成長させると、 $p$ タイプのドーパントの拡散は、かなりの距離に及び、下部のクラッド層に入り込む可能性がある。図3には、ウインドを2.20、及び、60マイクロメートルのオーダで成長させた後の、クラッド層及び活性層におけるドーパント（例えば、マグネシウム）濃度の概要が示されている。極めて薄いウインドの場合、 $p-n$ 接合は、活性層Aと上部クラッド層UCの界面に近い。適度な厚さのウインドの場合、 $p-n$ 接合は、活性層と下部のクラッド層LCの境界に近い。厚い層の場合、 $p-n$ 接合は、下部のクラッド層内の深部に位置する。

【0006】これに関する問題が、 $p-n$ 接合の位置の関数として、光の出力を示す（任意の単位で）図4の概略図に示されている。下部のクラッド層は、再結合中心のほとんどない、間接遷移型材料であるが、活性層は、直接遷移型材料であるため、光の出力は、下部クラッド層において急激に降下する。すぐ分かるように、LEDを通る電流の関数としての最大光出力は、 $p-n$ 接合が、活性層と下部クラッド層の界面にほぼ一致する場合に得られる。従って、 $p-n$ 接合をこの位置に維持することの可能な技法を提供することが望ましい。

【0007】

【発明の目的】本発明の目的は、 $p-n$ 接合の位置を制御し維持することにより、前述の問題を解決することにある。

【0008】

【発明の概要】従って、現在のところ望ましい実施例に

従って、本発明を実施することによって、半導体基板上に、下部クラッド層、活性層、及び、上部クラッド層を順次被着させたLEDを形成するための方法が得られる。上部クラッド層に被着される比較的薄い下部のウインド層には、第1のドーパント材料によるドーピングが施されている。比較的厚めの上部のウインド層が、下部ウインド層に重ねて被着されるが、この上部ウインド層のドーパント材料は、下部ウインド層とは異なっている。

【0009】この結果、より厚い層が成長するにつれて、第1のドーパント材料を拡散するための駆動力がかなり弱まり、ドーパントの最高濃度が低下することになる。実際、拡散のためのドーパントの供給が減少する。結果として、 $p-n$ 接合は、下部クラッド層におけるドーパントの濃度勾配の急峻な部分に留まることになる。 $p-n$ 接合は、活性層と下部クラッド層の界面に極めて近い位置につく。特定の実施例の場合、こうした発光ダイオードは、砲化ガリウムの基板と、 $n$ タイプのアルミニウム・インジウム・ガリウム・燐の下部クラッド層を備えており、基板と下部クラッド層の間のバッファ層は、組成が徐々に変化する。アルミニウム・インジウム・ガリウム・燐の活性層及び上部クラッド層が、下部クラッド層に重ねて順次被着される。例えば、上部クラッド層には、マグネシウムのドーピングが施される。上部クラッド層に重ねて、比較的厚い燐化ガリウムのウインド層が形成される。ウインドには、2つの異なるドーパントが用いられている。上部クラッド層に隣接した第1の比較的薄い層のドーパントは、一般に、上部クラッド層と同じであり、拡散制限層の働きをする。第2の比較的厚めの層には、第2のドーパントが用いられている。

【0010】こうした拡散制限層は、 $p$ タイプ基板上における発光ダイオードの形成にも利用することが可能である。基板上に、下部クラッド層が被着され、下部クラッド層上に、活性層が被着される。活性層上には、上部クラッド層が被着され、下部クラッド層の導電性タイプとは異なる導電性タイプになるように、ドーピングが施される。下部クラッド層に隣接した拡散制限層のドーパントは、下部クラッド層と同じ導電性タイプ、及び、クラッド層と活性層の界面に垂直な、全体に釣鐘形のドーパント濃度分布をもたらす。

【0011】

【発明の実施例】図1aに示すように、 $n$ タイプになるように、テルルのドーピングを施された砲化ガリウムの単結晶基板Sに、代表的な発光ダイオード(LED)を成長させる。LEDは、小形の砲化ガリウム・チップ上の单一デバイスとすることも、あるいは、やや大きめの砲化ガリウム・チップ上におけるいくつかのLEDのうちの1つとすることも可能である。まず、GaAs基板上にバッファ層Bをエピタキシャル成長させる。バッファ層の組成は、基板の組成から重ねられる下部クラッド

層LCへと徐々に変化する。バッファ層の典型的な厚さは、約1.5マイクロメートルである。下部クラッド層は、一般に、アルミニウム・インジウム・ガリウム・憲であり、厚さは、約1マイクロメートルである。下部クラッド層、バッファ層、及び、基板には、 $5 \times (10 \text{ の } 17 \text{ 乗})$ までの濃度で、テルルのようなnタイプのドーバントによるドーピングを施される。これは、テルルの利用可能なほぼ最高濃度であり、高導電率を得るために用いられる。

【0012】下部クラッド層に重ねて、活性層Aをエビタキシャル成長させる。一般に、活性層は、下部クラッド層とは組成の異なるアルミニウム・インジウム・ガリウム・憲であり、基本的にドーピングは施されない。図1cの概略図から明らかなように、活性層の禁止帯の幅は、下部クラッド層の禁止帯の幅に比べてやや狭い。さらに、活性層は、間接遷移型材料である、テルルのドーピングを施したAlInGaPの下部クラッド層とは対照的に、直接遷移型材料である。活性層の典型的な厚さは、約1マイクロメートルである。

【0013】活性層に重ねて、上部クラッド層UCをエビタキシャル成長させる。上部クラッド層におけるAlInGaPの組成は、下部クラッド層の場合と同様である。ただし、上部クラッド層には、マグネシウムのようなpタイプのドーバントによるドーピングが施される。最高の導電率を得るため、ドーバントは、 $1 \sim 2 \times (10 \text{ の } 18 \text{ 乗})$ の範囲である。上部クラッド層の典型的な厚さは、やはり、1マイクロメートルである。これらの層は、従来の金属・有機化学蒸着(MOCVD)によって基板上に被着される。典型的な実施例では、二重ヘテロ構造のAlInGaPであるが、アルミニウム・インジウム・憲のような他の3-5化合物から適合するLEDを製造することも可能である。LEDから放射される光の波長は、周知のように、組成の関数である。

【0014】次に、上部クラッド層に重ねて、比較的厚めのウインド層をエビタキシャル成長させる。一般に、ウインド層は、憲化ガリウム、または、活性層に比べて禁止帯の幅が高く、LEDのp-n接合から放出される光に対して透明な、他の適合材料から構成される。上述のように、ウインドは、有効な光出力を最大にし、電流を拡散して、光を放射する接合の面積を最大にする。典型的な実施例の場合、ウインドは、上部クラッド層に隣接した、比較的薄い下部ウインド層LWを備えている。比較的厚めの上部ウインド層UWが、LEDの上面または前面Fまで延びている。一般に、下部ウインド層の厚さは、約1~1.5マイクロメートルの範囲である。ウインド層の全体厚さは、20~100マイクロメートル、例えば、50マイクロメートルとすることができます。

【0015】下部ウインド層には、pタイプのドーバントによるドーピングを施されるが、これは、上部クラッド層と同じpタイプのドーバントであることが望ましい。ウインド層のバランスには、下部ウインド層のドーバントとは異なるpタイプ・ドーバントによるドーピングが施される。従って、例えば、下部ウインド層には、マグネシウムによるドーピングを施され、上部ウインド層には、亜鉛によるドーピングが施される。これらのドーバントのそれぞれの濃度は、 $1 \sim 2 \times (10 \text{ の } 18 \text{ 乗})$ の範囲内である。下部ウインド層の被着は、MOCVDで行うのが便利である。上部ウインド層は、GaPの厚い層を被着させることができるので、気相エビタキシャル成長(VPE)によって被着させるのが望ましい。

【0016】ドーバントの濃度についての以上の説明では、被着時の拡散または移動がなかったかのようである。実際のところ、MOCVD及びVPEに必要な高温では、拡散は生じない。nタイプのドーバントであるテルルの拡散係数は、比較的低く、図1bの左に近い実線で示すように、下部のクラッド層LCと活性層Aの界面に隣接したテルルの濃度勾配は、急峻である。3つのわずかにS字形の曲線が示されているが、最も急峻な曲線は薄いウインド層(例えば、2マイクロメートル)を被着させる場合における、テルルの濃度特性である。最も穏やかな曲線は、厚いウインド、例えば、60マイクロメートルのウインドに関する濃度勾配の特性である。中間の曲線は、中間の厚さ、例えば、20マイクロメートルのウインドに関する特性である。

【0017】図1bの右側には、上部ウインド層において開始する2つの実線による濃度曲線が示されている。比較的急峻な曲線は、中間の厚さのウインドを被着する場合における上部ウインド層(例えば、亜鉛)からのドーバントの分布を示している。より穏やかな曲線は、60マイクロメートルといった比較的厚いウインド層に関する上部ウインド層のドーバントの濃度勾配を表している。注目されるのは、pタイプ・ドーバントの比較的高い拡散係数にもかかわらず、拡散した亜鉛は、nタイプのテルル・ドーバントに達しなかったという点である。図1bの中間点において、マグネシウムの濃度は、ダッシュ・ラインで示される。被着した上部クラッド層及び下部ウインド層にマグネシウムが含まれている場合、ほぼ矩形のステップ関数として、すなわち、「パルス」として表される。該状況の場合、LEDのp-n接合は、活性層と上部クラッド層の界面にかなり近くなる(活性層は、公称ではドープされていないが、一般に、わずかにnタイプである)。

【0018】しかし、上部クラッド層及び下部ウインド層のマグネシウムは、これらの層から横方向に拡散して、一方の側においては、活性層に入り込み、もう一方の側においては、上部ウインド層に入り込む。上部の鎖線は、中間の厚さのウインドを被着した後における、マグネシウムの分布または濃度勾配の概略を示している。この分布は、全体に釣鐘形の濃度曲線を形成し、ドーバントによるドーピングを施されるが、これは、上部クラッド層と同じpタイプのドーバントであることが望ましい。

ウインド層のバランスには、下部ウインド層のドーバントとは異なるpタイプ・ドーバントによるドーピングが施される。従って、例えば、下部ウインド層には、マグネシウムによるドーピングを施され、上部ウインド層には、亜鉛によるドーピングが施される。これらのドーバントのそれぞれの濃度は、 $1 \sim 2 \times (10 \text{ の } 18 \text{ 乗})$ の範囲内である。下部ウインド層の被着は、MOCVDで行うのが便利である。上部ウインド層は、GaPの厚い層を被着させることができるので、気相エビタキシャル成長(VPE)によって被着させるのが望ましい。

ント濃度は、最初に被着されたマグネシウムの「バルス」中心近くにおける最高濃度から横方向における両方向に低下していく。G a P ウィンド層におけるドーバントの拡散係数は、A l I n G a P のクラッド層及び活性層の場合よりも高いので、釣鐘形の曲線は、必ずしも対称である必要はない。

【0019】図1 bにおける最下部の鎖線は、60マイクロメートルといった厚いウインドを被着した後における、最初に被着させたマグネシウムのステップ関数によるドーバントの分布を示している。この場合も、ドーバントの分布は、全体に釣鐘形の曲線を形成し、ドーバントは、拡散して、上部ウインド層に入り込み、また、活性層を介して、下部クラッド層に入り込む。両方の釣鐘形の曲線において注目されるのは、pタイプ・ドーバントが、下部クラッド層と活性層の界面の近くにおいて、nタイプ・ドーバントの濃度勾配の急峻な部分と交差するので、結果として、高光出力が得られるという点である。上部クラッド層及び下部ウインド層におけるドーバント層は、上部ウインド層におけるドーバント層とは異なっており、拡散を制限する働きをする。L E Dにおける拡散フラックスJは、 $J = D \frac{dn}{dx}$ であり、ここで、Dは、半導体材料中におけるドーバントの拡散係数であり、 $dn/dx$ は、ドーバントの濃度勾配である。800°Cの場合、A l I n G a P 中におけるマグネシウムと亜鉛の拡散係数は、それぞれ、約1.7×(10のマイナス12乗) 平方cm/秒及び1.73×(10のマイナス12乗) 平方cm/秒である。

【0020】この意味するところは、上部ウインド層に亜鉛のドーピングを施される典型的な実施例の場合、 $dn/dx$ は、ほぼ一定のため、pタイプ・ドーバントのプロファイルは、約0.5マイクロメートル/時の速度で移動する。拡散を駆動する亜鉛のほぼ無制限なリザーバーが存在する。一方、マグネシウムの濃度は、半導体に被着されるマグネシウムの「バルス」におけるマグネシウムの量に制限があるため、拡散が続行されるにつれて低下する。成長時間が長くなり、ウインドの厚さが増すにつれて、 $dn/dx$ は、いっそう小さくなっていく。従って、マグネシウムの拡散フラックスまたはマグネシウムを活性層に拡散する駆動力は、ますます小さくなっている。この拡散が該層について制限される結果、p-n接合は、活性層と下部クラッド層の界面に近い、nタイプ材料の濃度勾配の急峻な部分に留まることになる。

【0021】精密なE B I C 及びS I M測定によって示すように、p-n接合は、800°Cで、80分～255分のウインド成長時間にわたり、活性層と下部クラッド層の界面またはそれにごく近接して固定される。測定し得る限りにおいて、この構造におけるp-n接合の位置再現性は、優れている。全ウインドを被着してしまうと、第2のドーバントの拡散制限層の厚さは、上部ウインド層のドーバントをp-n接合から分離するのに十分

である。これは、図1 bの右側における亜鉛濃度に関する実線による曲線によって明らかである。本書に解説し、例示する典型的な実施例の場合、拡散制限層（この場合、上部クラッド層+下部クラッド層）の元の厚さは、約2.5マイクロメートルである。これは、少なくとも60マイクロメートルまでのウインド厚の場合、p-n接合から進行する亜鉛を分離するのに十分である。

【0022】例示の実施例の場合、拡散制限層におけるドーバントの元の濃度は、 $1 \sim 2 \times 10^1$ の18乗であり、これは、L E Dに適したマグネシウムまたは亜鉛のほぼ最高濃度である。所望の場合、元の濃度を少し高くし、ウインド層の被着時に、元の被着層から両方向に拡散が生じた後、最高濃度が所望のレベルまで低下するようになることが可能である。これは、活性層と上部クラッド層における最高導電率の維持を助けることになる。同様の拡散制限層を利用して、pタイプ基板及びnタイプ材料が前面に隣接したL E Dを形成することが可能である。こうしたL E Dは、電流が流れる通常の方向を逆にすることが所望される構成においては望ましい場合もある。こうしたL E Dをエピタキシャル成長によって形成する上の問題は、pタイプ・ドーバントの拡散係数が極めて高く、活性層及び上部クラッド層、さらには、上部クラッド層の後で追加される追加層の被着時に、かなりの拡散が生じるということである。急激な拡散の影響は、拡散制限層を用いることによって緩和することが可能である。

【0023】こうした実施例が、図2 aに示されており、L E Dは、マグネシウムのような材料のドーピングを施されたpタイプの基板S上に形成される。亜鉛のような異なるpタイプのドーバントによるドーピングを施された基板上に、拡散制限層D Lを成長させることができると、結晶格子の不整合がある場合には、拡散制限層の組成を徐々に変化させ、バッファ層として二重の働きを行えるようにすることも可能である。所望の場合、こうしたバッファ層の一部に限って、前記拡散制限層を含めることも可能である。

【0024】下部クラッド層L Cが、拡散制限層上に被着される。こうした下部クラッド層には、拡散制限層のドーバントと同じ、亜鉛のようなpタイプのドーバントによるドーピングを施すことが可能である。所望の場合、マグネシウムと亜鉛の交互層を用いることも可能であるが、必要があるとは思えない。従来のやり方で、下部クラッド層に、活性層及び上部クラッド層U Cが被着される。上部クラッド層には、nタイプになるように、適合するドーピングが施される。所定のL E Dに必要な場合、上部クラッド層に、追加層を被着させることも可能である。図2 bには、図2 aに示す完成したL E Dにおけるドーバント濃度の概略が示されている。図2 bの左側の実線による曲線で示されているように、基板のp

タイプ・ドーバント（例えば、マグネシウム）は、拡散制限層及び下部クラッド層にかなりの距離まで拡散し、活性層内にまで拡散する場合さえある。図2 bにおける全体に釣鐘形の鎖線は、拡散制限層及び下部クラッド層からの第2のドーバント材料の分布を示している。この材料は、元の被着位置から両方向に拡散し、活性層を通して、基板内にも入り込む。

【0025】最後に、図2 bの右に近い実線による曲線は、上部クラッド層におけるnタイプ・ドーバントの濃度を示している。nタイプ・ドーバントの拡散は極めてわずかなので、活性層と上部クラッド層の界面に隣接して、濃度勾配が急峻である。従って、pタイプ材料がnタイプ・ドーバントと交差する、p-n接合が、活性層と上部制限層の界面に近いといったことが起こる。

【0026】本書では、発光ダイオード等における拡散制限層の限定された実施例について解説し、例示してきたが、当該技術の熟練者であれば、多くの修正及び変更が明かであろう。例示の実施例の場合、第2のドーバント材料は、クラッド層と隣接する拡散制限層の両方に被着される。これは、隣接するウインドまたは基板とはドーバントの異なる比較的厚めのクラッド層を形成し、クラッド層自体が拡散に制限を加える働きをなすようにすることによって、ある程度、修正可能である。重要な特徴は、拡散制限層のドーバントが、半無限供給源のあるドーバントとは異なるので、拡散制限層のドーバントは、拡散制限層から両方向に拡散可能ということである。かように、当該技術の熟練者であれば、他の修正及び変更を採用することも可能である。従って、下記請求項に定義の本発明を詳細な説明の場合とは別様に実施す\*

\* ことができるるのは、明らかである。

#### 【0027】

【発明の効果】本発明の実施により、LEDのp-n接合の位置が最適に定められ、維持されるので、LEDの光出力を大きくかつ高効率とする事ができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1 a】本発明の一実施例によるLEDの部分横断面図である。

【図1 b】図1 aのLEDにおけるドーバント濃度の分布を示す図である。

【図1 c】図1 aのLEDにおける禁制帯幅分布を示す図である。

【図2 a】本発明の一実施例による、pタイプ基板上に形成されたLEDの部分横断面図である。

【図2 b】図2 aのLEDにおけるドーバント濃度の分布を示す図である。

【図3】従来技術によるLEDの部分横断面図である。

【図4】図3のLEDにおけるp-n接合の位置と光出力パワーの関係を示す図である。

#### 20 【符号の説明】

S：基板

B：バッファ層

LC：下部クラッド層

A：活性層

DL：拡散制限層

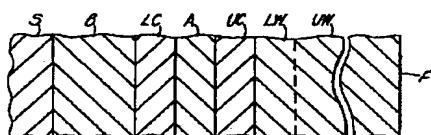
UC：上部クラッド層

LW：下部ウインド層

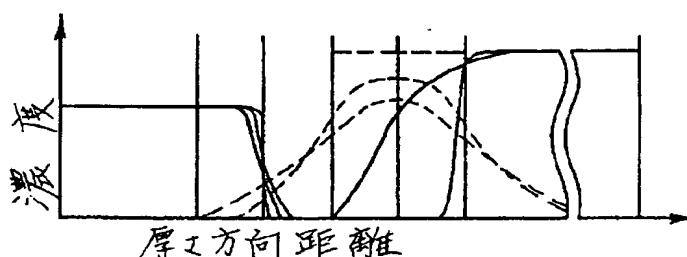
UW：上部ウインド層

F：LEDの前面

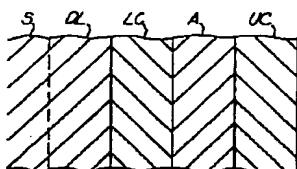
【図1 a】



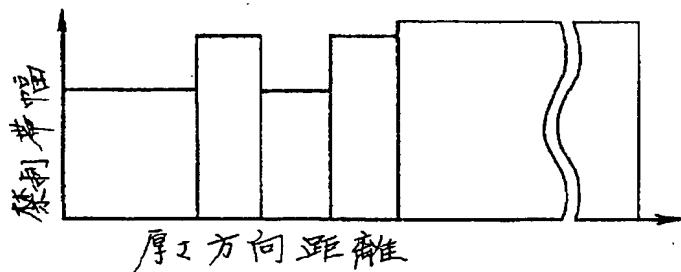
【図1 b】



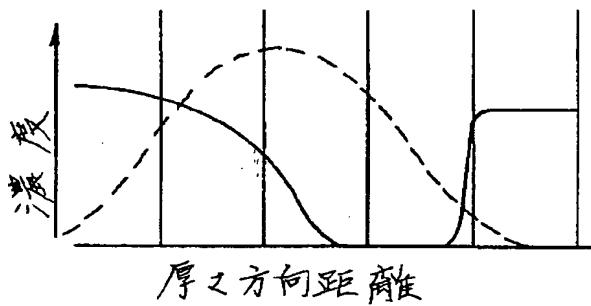
【図2 a】



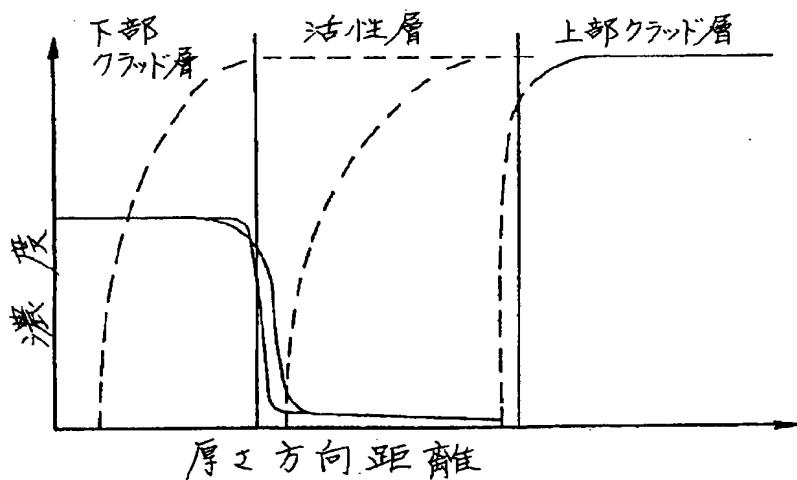
【図1c】



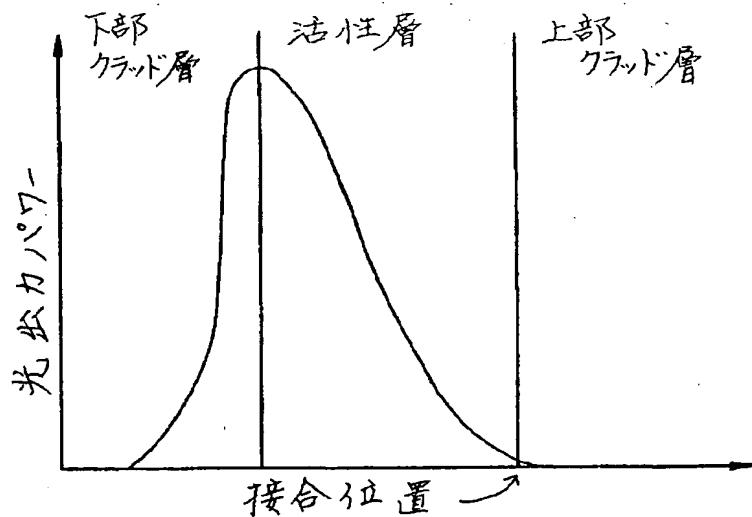
【図2b】



【図3】



【図4】



【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第2区分

【発行日】平成13年2月16日(2001.2.16)

【公開番号】特開平5-190898

【公開日】平成5年7月30日(1993.7.30)

【年通号数】公開特許公報5-1909

【出願番号】特願平4-200456

【国際特許分類第7版】

H01L 33/00

【F I】

H01L 33/00

A

【手続補正書】

【提出日】平成11年6月25日(1999.6.25)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】発光ダイオードの形成方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】半導体基板上に発光ダイオードを形成するための方法であって、

(イ) 前記半導体基板上に第一の導電性タイプを有するようにドーバントをドーピングした下部クラッド層を被着するステップ、

(ロ) 前記下部クラッド層上に活性層を被着するステップ、

(ハ) 前記活性層上に前記第一の導電性タイプとは異なる第二の導電性タイプを有するようにドーバントをドーピングした上部クラッド層を被着するステップ、

(ニ) 第一のドーバント材料をドーピングして前記第二の導電性タイプを有するようにした下部ウインド層を前記上部クラッド層上に被着するステップ、および

(ホ) 前記第一のドーバント材料とは異なる第二のドーバント材料をドーピングして前記第二の導電性タイプを有するようにした上部ウインド層を前記下部ウインド層上に被着するステップ、を備え、

前記第一のドーバント材料の量を選択し、前記下部クラッド層内の前記ドーバントの濃度勾配の急峻な部分に前記発光ダイオードのp-n接合を維持するようにしたことを特徴とする発光ダイオードの形成方法。

【請求項2】前記下部ウインド層の厚さを選択し、前記上部ウインド層を被着後に前記p-n接合から前記第二のドーバント材料を分離しておくことを特徴とする請求項1に記載の発光ダイオードの形成方法。

【請求項3】前記下部ウインド層内に導入された前記ド

ーバント材料の量を選択し、全前記ウインド層を被着後に前記発光ダイオードのp-n接合を前記活性層内に維持できるようにしたことを特徴とする請求項1に記載の発光ダイオードの形成方法。

【請求項4】前記第一のドーバント材料が前記上部クラッド層内の前記ドーバントと同じに選んだことを特徴とする請求項1に記載の発光ダイオードの形成方法。

【請求項5】前記下部ウインド層が前記上部ウインド層より薄いことを特徴とする請求項1に記載の発光ダイオードの形成方法。

【請求項6】pタイプの半導体基板上に発光ダイオードを形成するための方法であって、(イ) 前記半導体基板に含まれるpタイプのドーバントとは異なるpタイプのドーバントを含む拡散制限層を前記半導体基板上に被着するステップ、

(ロ) 前記拡散制限層上にpタイプの下部クラッド層を被着するステップ、

(ハ) 前記下部クラッド層上に活性層を被着するステップ、および

(ニ) 前記活性層上にnタイプの上部クラッド層を被着するステップ、を備え前記拡散制限層内の前記pタイプのドーバントの量を選択し、前記下部クラッド層と前記活性層の界面に垂直な勾配を有するpタイプのドーバントの濃度分布が前記上部クラッド層と前記活性層の界面に隣接する前記nタイプのドーバントの濃度分布と交差するようにしたことを特徴とする発光ダイオードの形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の技術分野】本発明は、二重ヘテロ構造の発光ダイオード(LED)等におけるp-n接合位置の制御に関するものである。とりわけ、本発明は、発光面にウインド層を備え、このウインド層の一部からのドーバント拡散がp-n接合から分離されるようになっている、前記LEDに関するものである。本発明は、また、pタイプ基板に形成されたLEDに関するものもある。

## 【0002】

【発明の技術分野】LEDは、多種多様な用途において遍在するデバイスになり、年間数億個のLEDが生産されている。これらLEDの大部分は、赤色光を放出する。しかしながら、黄色や緑色も発光する方が望ましい。こうしたLEDに有効な半導体材料は、InGaP化合物であるアルミニウム・インジウム・ガリウム・燐: AlInGaPから構成され、この組成を変えることによって、LEDから放出される光の波長を変えることができる。

【0003】AlInGaPによるヘテロ構造のLEDを製造する典型的な技法では、MOCVD（金属・有機化学蒸着）が用いられる。nタイプの砲化ガリウムの基板が、一般に用いられる。基板上に、基板の組成から活性層の組成に徐々に変化するバッファ層をエピタキシャル成長させる。次に、バッファ層に、3層をなすAlInGaPをエピタキシャル成長させる。この3層は、一般に、nタイプになるようにテルルのドーピングが施されるバッファ層上における最下部のクラッド層、殆どドーピングが施されない、組成の異なる活性層、及び、一般には、マグネシウムまたは亜鉛、場合によっては、ベリリウムまたは炭素のドーピングを施されpタイプとされる上部のクラッド層と呼ばれるものである。

【0004】このタイプの構造に関する問題の1つは、上部のクラッド層の導電率（上部は、「下部の」GaAs基板からより遠いLED部分を表す）が、比較的低いということである。従って、上部クラッド層の上にウインド層をエピタキシャル成長させるのが望ましい。ウインド層の導電率は、比較的高いので、LEDの上面における不透明な電極からの電流は、横方向に広がるので、電極によって遮蔽されない領域から光が放出されることになる。ウインドの屈折率は、LEDから放射される光量を増すように選択される。pタイプになるようにマグネシウムまたは亜鉛のドーピングを施したGaPのような高導電率の材料を用いることが可能である。こうしたウインドについては、米国特許第5,008,718号に記載がある。

【0005】これらの効果を高めるため、例えば、20～100マイクロメートルといった比較的厚いウインドを備えることが望ましい。800°Cの温度で、VPEによってこうした厚さのウインドを成長させるには、1.5～8時間かかる。この結果、ドーパントは、上部クラッド層及びウインドから活性層にかなり拡散することになる。比較的厚いウインドを成長させると、pタイプのドーパントの拡散は、かなりの距離に及び、下部のクラッド層に入り込む可能性がある。図3には、ウインドを2、20、及び、60マイクロメートルのオーダで成長させた後の、クラッド層及び活性層におけるドーパント（例えば、マグネシウム）濃度の概要が点線で示されている。極めて薄いウインドの場合、p-n接合は、

活性層Aと上部クラッド層UCの界面に近い。適度な厚さのウインドの場合、p-n接合は、活性層と下部のクラッド層LCの境界に近い。厚い層の場合、p-n接合は、下部のクラッド層内の深部に位置する。

【0006】これに関する問題が、p-n接合の位置の関数として、光の出力を示す（任意の単位で）図4の概略図に示されている。下部のクラッド層は、再結合中心のほとんどない、間接遷移型材料であるが、活性層は、直接遷移型材料であるため、光の出力は、下部クラッド層において急激に降下する。すぐ分かるように、LEDを通る電流の関数としての最大光出力は、p-n接合が、活性層と下部クラッド層の界面にほぼ一致する場合に得られる。従って、p-n接合をこの位置に維持することの可能な技法を提供することが望ましい。

## 【0007】

【発明の目的】本発明の目的は、p-n接合の位置を制御し維持することにより、前述の問題を解決することにある。

## 【0008】

【発明の概要】従って、現在のところ望ましい実施例に従って、本発明を実施することによって、半導体基板上に、下部クラッド層、活性層、及び、上部クラッド層を順次被着させたLEDを形成するための方法が得られる。上部クラッド層に被着される比較的薄い下部のウインド層には、第1のドーパント材料によるドーピングが施されている。比較的厚めの上部のウインド層が、下部ウインド層に重ねて被着されるが、この上部ウインド層のドーパント材料は、下部ウインド層とは異なっている。

【0009】この結果、より厚い層が成長するにつれて、第1のドーパント材料を拡散するための駆動力がかなり弱まり、ドーパントの最高濃度が低下することになる。実際、拡散のためのドーパントの供給が減少する。結果として、p-n接合は、下部クラッド層におけるドーパントの濃度勾配の急峻な部分に留まることになる。p-n接合は、活性層と下部クラッド層の界面に極めて近い位置につく。特定の実施例の場合、こうした発光ダイオードは、砲化ガリウムの基板と、nタイプのアルミニウム・インジウム・ガリウム・燐の下部クラッド層を備えており、基板と下部クラッド層の間のバッファ層は、組成が徐々に変化する。アルミニウム・インジウム・ガリウム・燐の活性層及び上部クラッド層が、下部クラッド層に重ねて順次被着される。例えば、上部クラッド層には、マグネシウムのドーピングが施される。上部クラッド層に重ねて、比較的厚い燐化ガリウムのウインド層が形成される。ウインドには、2つの異なるドーパントが用いられている。上部クラッド層に隣接した第1の比較的薄い層のドーパントは、一般に、上部クラッド層と同じであり、拡散制限層の働きをする。第2の比較的厚めの層には、第2のドーパントが用いられている。

【0010】こうした拡散制限層は、pタイプ基板上における発光ダイオードの形成にも利用することが可能である。基板上に、下部クラッド層が被着され、下部クラッド層上に、活性層が被着される。活性層上には、上部クラッド層が被着され、下部クラッド層の導電性タイプとは異なる導電性タイプになるように、ドーピングが施される。下部クラッド層に隣接した拡散制限層のドーバントは、下部クラッド層と同じ導電性タイプ、及び、クラッド層と活性層の界面に垂直な、全体に釣鐘形のドーバント濃度分布をもたらす。

## 【0011】

【発明の実施例】図1aに示すように、nタイプになるように、テルルのドーピングを施された砒化ガリウムの単結晶基板Sに、代表的な発光ダイオード(LED)を成長させる。LEDは、小形の砒化ガリウム・チップ上の单一デバイスとともに、あるいは、やや大きめの砒化ガリウム・チップ上におけるいくつかのLEDのうちの1つとすることも可能である。まず、GaAs基板上にバッファ層Bをエピタキシャル成長させる。バッファ層の組成は、基板の組成から重ねられる下部クラッド層LCへと徐々に変化する。バッファ層の典型的な厚さは、約1.5マイクロメートルである。下部クラッド層は、一般に、アルミニウム・インジウム・ガリウム・磷であり、厚さは、約1マイクロメートルである。下部クラッド層、バッファ層、及び、基板には、 $5 \times (10 \text{ の } 17 \text{ 乗})$ までの濃度で、テルルのようなnタイプのドーバントによるドーピングを施される。これは、テルルの利用可能なほぼ最高濃度であり、高導電率を得るために用いられる。

【0012】下部クラッド層に重ねて、活性層Aをエピタキシャル成長させる。一般に、活性層は、下部クラッド層とは組成の異なるアルミニウム・インジウム・ガリウム・磷であり、基本的にドーピングは施されない。図1cの概略図から明らかなように、活性層の禁止帯の幅は、下部クラッド層の禁止帯の幅に比べてやや狭い。さらに、活性層は、間接遷移型材料である、テルルのドーピングを施したAlInGaPの下部クラッド層とは対照的に、直接遷移型材料である。活性層の典型的な厚さは、約1マイクロメートルである。

【0013】活性層に重ねて、上部クラッド層UCをエピタキシャル成長させる。上部クラッド層におけるAlInGaPの組成は、下部クラッド層の場合と同様である。ただし、上部クラッド層には、マグネシウムのようなpタイプのドーバントによるドーピングが施される。最高の導電率を得るため、ドーバントは、 $1 \sim 2 \times (10 \text{ の } 18 \text{ 乗})$ の範囲である。上部クラッド層の典型的な厚さは、やはり、1マイクロメートルである。これらの層は、従来の金属・有機化学蒸着(MOCVD)によって基板上に被着される。典型的な実施例では、二重ヘテロ構造のAlInGaPであるが、アルミニウム・イン

ジウム・磷のような他のIII-V化合物から適合するLEDを製造することも可能である。LEDから放射される光の波長は、周知のように、組成の関数である。

【0014】次に、上部クラッド層に重ねて、比較的厚めのウインド層をエピタキシャル成長させる。一般に、ウインド層は、磷化ガリウム、または、活性層に比べて禁止帯の幅が高く、LEDのp-n接合から放出される光に対して透明な、他の適合材料から構成される。上述のように、ウインドは、有効な光出力を最大にし、電流を拡散して、光を放射する接合の面積を最大にする。典型的な実施例の場合、ウインドは、上部クラッド層に隣接した、比較的薄い下部ウインド層IWを備えている。比較的厚めの上部ウインド層UWが、LEDの上面または前面Fまで延びている。一般に、下部ウインド層の厚さは、約1~1.5マイクロメートルの範囲である。ウインド層の全体厚さは、20~100マイクロメートル、例えば、50マイクロメートルとすることができます。

【0015】下部ウインド層には、pタイプのドーバントによるドーピングを施されるが、これは、上部クラッド層と同じpタイプのドーバントであることが望ましい。ウインド層のバランスには、下部ウインド層のドーバントとは異なるpタイプ・ドーバントによるドーピングが施される。従って、例えば、下部ウインド層には、マグネシウムによるドーピングを施され、上部ウインド層には、亜鉛によるドーピングが施される。これらのドーバントのそれぞれの濃度は、 $1 \sim 2 \times (10 \text{ の } 18 \text{ 乗})$ の範囲内である。下部ウインド層の被着は、MOCVDで行うのが便利である。上部ウインド層は、GaPの厚い層を被着させることができると想定されるが、それは、気相エピタキシャル成長(VPE)によって被着されるのが望ましい。

【0016】ドーバントの濃度についての以上の説明では、被着時の拡散または移動がなかったかのようである。実際のところ、MOCVD及びVPEに必要な高温では、拡散は生じる。nタイプのドーバントであるテルルの拡散係数は、比較的低く、図1bの左に近い実線で示すように、下部のクラッド層LCと活性層Aの界面に隣接したテルルの濃度勾配は、急峻である。3つのわずかにS字形の曲線が示されているが、最も急峻な曲線は薄いウインド層(例えば、2マイクロメートル)を被着させる場合における、テルルの濃度特性である。最も穏やかな曲線は、厚いウインド、例えば、60マイクロメートルのウインドに関する濃度勾配の特性である。中間の曲線は、中間の厚さ、例えば、20マイクロメートルのウインドに関する特性である。

【0017】図1bの右側には、上部ウインド層において開始する2つの実線による濃度曲線が示されている。比較的急峻な曲線は、中間の厚さのウインドを被着する場合における上部ウインド層からのドーバント(例えば、亜鉛)の分布を示している。より穏やかな曲線は、

60マイクロメートルといった比較的厚いウインド層に関する上部ウインド層のドーバントの濃度勾配を表している。注目されるのは、pタイプ・ドーバントの比較的高い拡散係数にもかかわらず、拡散した亜鉛は、nタイプのテルル・ドーバントに達しなかったという点である。図1bの中間点において、マグネシウムの濃度は、鎖線で示される。被着した上部クラッド層及び下部ウインド層にマグネシウムが含まれている場合、ほぼ矩形のステップ関数として、すなわち、「パルス」として表される。該状況の場合、LEDのp-n接合は、活性層と上部クラッド層の界面にかなり近くなる（活性層は、公称ではドープされていないが、一般に、わずかにnタイプである）。

【0018】しかし、上部クラッド層及び下部ウインド層のマグネシウムは、これらの層から横方向に拡散して、一方の側においては、活性層に入り込み、もう一方の側においては、上部ウインド層に入り込む。上部の鎖線は、中間の厚さのウインドを被着した後における、マグネシウムの分布または濃度勾配の概略を示している。この分布は、全体に釣鐘形の濃度曲線を形成し、ドーバント濃度は、最初に導入されたマグネシウムの「パルス」中心近くにおける最高濃度から横方向における両方向に低下していく。GaPウインド層におけるドーバントの拡散係数は、AlInGaPのクラッド層及び活性層の場合よりも高いので、釣鐘形の曲線は、必ずしも対称である必要はない。

【0019】図1bにおける最下部の鎖線は、60マイクロメートルといった厚いウインドを被着した後における、最初に導入させたマグネシウムのステップ関数によるドーバントの分布を示している。この場合も、ドーバントの分布は、全体に釣鐘形の曲線を形成し、ドーバントは、拡散して、上部ウインド層に入り込み、また、活性層を介して、下部クラッド層に入り込む。両方の釣鐘形の曲線において注目されるのは、pタイプ・ドーバントが、下部クラッド層と活性層の界面の近くにおいて、nタイプ・ドーバントの濃度勾配の急峻な部分と交差するので、結果として、高光出力が得られるという点である。上部クラッド層及び下部ウインド層におけるドーバント層は、上部ウインド層におけるドーバント層とは異なっており、拡散を制限する働きをする。LEDにおける拡散フラックスJは、 $J = D \times (d_n / d_x)$ であり、ここで、Dは、半導体材料中におけるドーバントの拡散係数であり、 $d_n / d_x$ は、ドーバントの濃度勾配である。800°Cの場合の、AlInGaP中におけるマグネシウムと亜鉛の拡散係数は、それぞれ、約1.7×(10のマイナス12乗)平方cm/秒及び1.73×(10のマイナス12乗)平方cm/秒である。

【0020】この意味するところは、上部ウインド層に亜鉛のドーピングを施される典型的な実施例の場合、 $d_n / d_x$ は、ほぼ一定のため、pタイプ・ドーバントの

プロファイルは、約0.5マイクロメートル/時の速度で移動する。拡散を駆動する亜鉛のほぼ無制限な溜めが存在する。一方、マグネシウムの濃度は、半導体に導入されるマグネシウムの「パルス」におけるマグネシウムの量に制限があるため、拡散が続行されるにつれて低下する。成長時間が長くなり、ウインドの厚さが増すにつれて、 $d_n / d_x$ は、いっそう小さくなっていく。従って、マグネシウムの拡散フラックスまたはマグネシウムを活性層に拡散する駆動力は、ますます小さくなっていく。この拡散が該層について制限される結果、p-n接合は、活性層と下部クラッド層の界面に近い、nタイプ材料の濃度勾配の急峻な部分に留まることになる。

【0021】精密なEBIC及びSIM測定によって示すように、p=n接合は、800°Cで、80分～255分のウインド成長時間にわたり、活性層と下部クラッド層の界面またはそれにごく近接して固定される。測定し得る限りにおいて、この構造におけるp-n接合の位置再現性は、優れている。全ウインドを被着後、第2のドーバントについての拡散制限層の厚さは、上部ウインド層の該ドーバントをp-n接合から分離するのに十分である。これは、図1bの右側における亜鉛濃度に関する実線による曲線によって明らかである。本書に解説し、例示する典型的な実施例の場合、拡散制限層（この場合、上部クラッド層+下部ウインド層）の元の厚さは、約2.5マイクロメートルである。これは、少なくとも60マイクロメートルまでのウインド厚の場合、p-n接合から進行する亜鉛を分離するのに十分である。

【0022】例示の実施例の場合、拡散制限層におけるドーバントの元の濃度は、1～2×10の18乗があり、これは、LEDに適したマグネシウムまたは亜鉛のほぼ最高濃度である。所望の場合、元の濃度を少し高くし、ウインド層の被着時に、元の被着層から両方向に拡散が生じた後、最高濃度が所望のレベルまで低下するようになることが可能である。これは、活性層と上部クラッド層における最高導電率の維持を助けることになる。同様の拡散制限層を利用して、pタイプ基板及びnタイプ材料が前面に隣接したLEDを形成することが可能である。こうしたLEDは、電流が流れる通常の方向を逆にすることが所望される構成においては望ましい場合もある。こうしたLEDをエピタキシャル成長によって形成するまでの問題は、pタイプ・ドーバントの拡散係数が極めて高く、活性層及び上部クラッド層、さらには、上部クラッド層の後で追加される追加層の被着時に、かなりの拡散が生じるということである。急激な拡散の影響は、拡散制限層を用いることによって緩和することが可能である。

【0023】こうした実施例が、図2aに示されており、LEDは、マグネシウムのような材料のドーピングを施されたpタイプの基板S上に形成される。亜鉛のような異なるpタイプのドーバントによるドーピングを施

し、基板S上に、拡散制限層DLを成長させることができある。拡散制限層は、基板と同じ材料にすることもできるし、結晶格子の不整合がある場合には、拡散制限層の組成を徐々に変化させ、バッファ層として二重の働きを行えるようにすることも可能である。所望の場合、こうしたバッファ層の一部に限って、前記拡散制限層を含めることも可能である。

【0024】下部クラッド層LCが、拡散制限層上に被着される。こうした下部クラッド層には、拡散制限層のドーパントと同じ、亜鉛のようなpタイプのドーパントによるドーピングを施すことが可能である。所望の場合、マグネシウムと亜鉛の交互層を用いることも可能であるが、必要があるとは思えない。従来のやり方で、下部クラッド層に、活性層及び上部クラッド層UCが被着される。上部クラッド層には、nタイプになるように、適合するドーピングが施される。所定のLEDに必要な場合、上部クラッド層に、追加層を被着させることも可能である。図2bには、図2aに示す完成したLEDにおけるドーパント濃度の概略が示されている。図2bの左側の実線による曲線で示されているように、基板のpタイプ・ドーパント（例えば、マグネシウム）は、拡散制限層及び下部クラッド層にかなりの距離まで拡散し、活性層内にまで拡散する場合さえある。図2bにおける全体に釣鐘形の鎖線は、拡散制限層及び下部クラッド層からの第2のドーパント材料の分布を示している。この材料は、元の被着位置から両方向に拡散し、活性層を通して広がり、また基板内にも入り込む。

【0025】最後に、図2bの右に近い実線による曲線は、上部クラッド層におけるnタイプ・ドーパントの濃度を示している。nタイプ・ドーパントの拡散は極めてわずかなので、活性層と上部クラッド層の界面に隣接して、濃度勾配が急峻である。従って、pタイプ材料がnタイプ・ドーパントと交差するp-n接合が、活性層と上部クラッド層の界面に近いといったことが起こる。

【0026】本書では、発光ダイオード等における拡散制限層の限定された実施例について解説し、例示してきたが、当該技術の熟練者であれば、多くの修正及び変更が明かであろう。例示の実施例の場合、第2のドーパント材料は、クラッド層と隣接する拡散制限層の両方に被

着される。これは、隣接するウインドまたは基板とはドーパントの異なる比較的厚めのクラッド層を形成し、クラッド層自体が拡散に制限を加える働きをなすようにすることによって、ある程度、修正可能である。重要な特徴は、拡散制限層のドーパントが、半無限供給源のあるドーパントとは異なるので、拡散制限層のドーパントは、拡散制限層から両方向に拡散可能ということである。かように、当該技術の熟練者であれば、他の修正及び変更を採用することも可能である。従って、下記請求項に定義の本発明を詳細な説明の場合とは別様に実施することができるるのは、明らかである。

#### 【0027】

【発明の効果】本発明の実施により、LEDのp-n接合の位置が最適に定められ、維持されるので、LEDの光出力を大きくかつ高効率とする事ができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1a】本発明の一実施例によるLEDの部分横断面図である。

【図1b】図1aのLEDにおけるドーパント濃度の分布を示す図である。

【図1c】図1aのLEDにおける禁制帯幅分布を示す図である。

【図2a】本発明の一実施例による、pタイプ基板上に形成されたLEDの部分横断面図である。

【図2b】図2aのLEDにおけるドーパント濃度の分布を示す図である。

【図3】従来技術によるLEDの部分横断面図である。

【図4】図3のLEDにおけるp-n接合の位置と光出力パワーの関係を示す図である。

#### 【符号の説明】

S：基板

B：バッファ層

LC：下部クラッド層

A：活性層

DL：拡散制限層

UC：上部クラッド層

LW：下部ウインド層

UW：上部ウインド層

F：LEDの前面